

TP « MAXPID »

AXE ASSERVI

I. Objectifs du TP

Documents à disposition

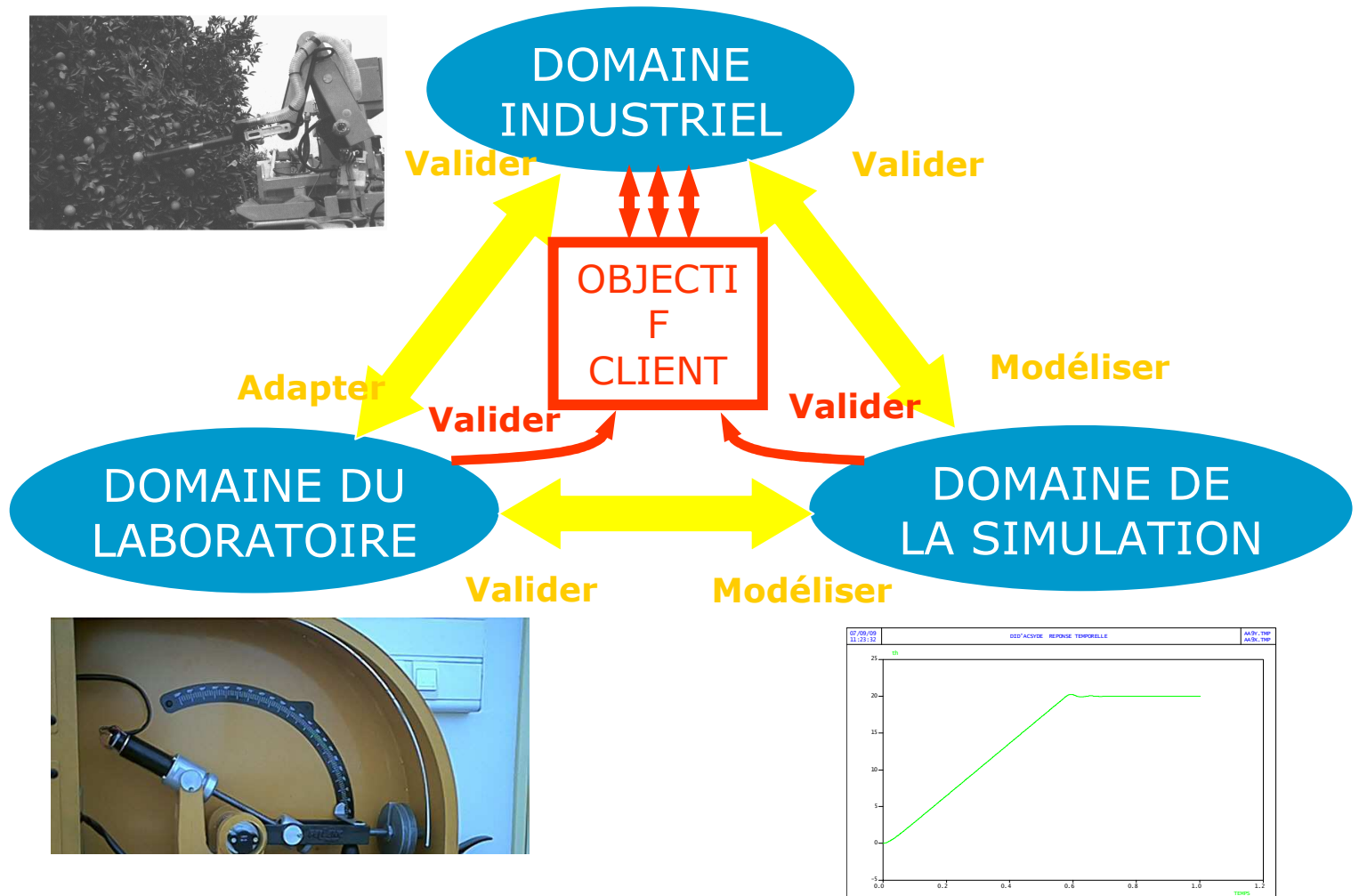
- le **dossier d'étude** (disponible ci-après) comprend les activités à mener pendant la durée de cette séance de travaux pratiques
- le **dossier ressource** (disponible sur le réseau) comprend l'ensemble des données disponibles sur les éléments (moteurs, capteurs, etc.) de tout ou partie des chaînes fonctionnelles présentes sur ce système
- le **dossier technique** (disponible sur le réseau) comprend des données utiles pour les mesures via le logiciel et les interfaces électroniques associées au TP



Présentation de l'activité

- **Secteur d'activité du matériel étudié dans ce TP** : Robotique, secteur industriel.
- **Support** : maquette MaxPID, composée d'une commande angulaire d'axe.
- **Thème** : Analyse fonctionnelle, modélisation cinématique.
- **Références au programme** : analyse fonctionnelle, structure du système, analyse géométrique et analyse cinématique, degré de mobilité et degré d'hyperstaticité d'un mécanisme.

Le triptyque proposé ci-après montre les trois domaines d'étude d'un système. L'axe asservi MaxPID étudié correspond à une commande d'axe extraite de son environnement.



Performances mesurées sur les matériels instrumentés du laboratoire

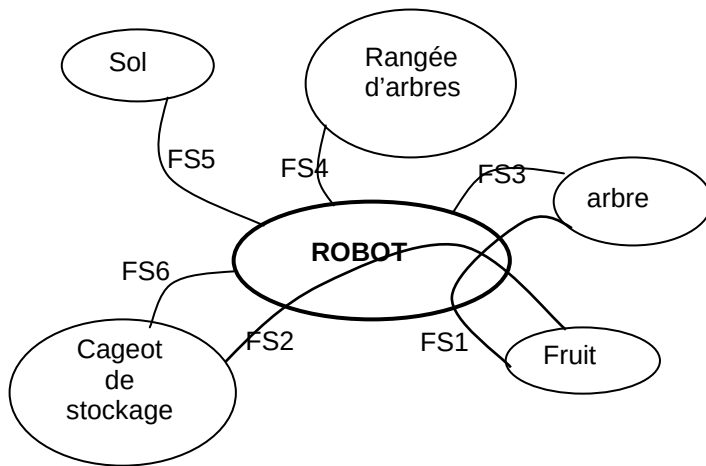
Performances estimées par simulation ou par calcul

Les objectifs des activités proposées ci-après sont :

- De valider le modèle proposé
- De valider les performances du modèle proposé par rapport à celles du système du laboratoire

II. Présentation du système

1. Évocation du problème



Analyse des milieux extérieurs en mode de fonctionnement normal

	Fonctions	Critères	Niveaux	F
FS 1	Le robot doit repérer dans l'arbre le fruit mûr le plus proche.	- Reconnaissance du fruit par la couleur - Prendre tous les fruits mûrs dans son volume de déplacement sans avancer - repérer aux moins 90% des fruits mûrs dans son volume de déplacement	5 niveaux de couleurs	1 1 1
FS 2	Le robot saisit le fruit sans le teler sur l'arbre et le stocke dans le cageot	- prendre 80% des fruits sélectionnés par la reconnaissance - ne pas lâcher le fruit après la cueillette - effort de saisie - ne doit pas séparer la queue du fruit - Ne prend que les fruits de niveau de maturité sélectionné - Comptage de fruits cueillis - Remplir le cageot en plaçant au mieux les fruits	1% de pertes minimum 4 niveaux de serrage : 5 N maxi Conservation plus longue 50% d'erreurs pour certains fruits Précision de positionnement de l'effecteur de préhension 2 cm 5 % d'erreurs Précision à 0,5% Les cageots sont équipés de cases de rangement	1 2 3 2 1 1
FS 3	Le robot doit respecter l'arbre	- ne doit pas couper l'écorce - Doit être limité en effort - Doit avoir la possibilité de sélectionner un autre passage pour saisir le fruit.	Pas arrêtes tranchantes 10 daN en plus de sa charge à vide 3 essais et abandon du fruit sélectionné	2 1 2
FS 4	Le robot doit passer dans la rangée d'arbres	- Autonomie totale - Largeur de la rangée minimum (feuillage non compris)	Le déchargement des cageots pleins se fait en bout de rangée. 3 m	1
FS 5	Le robot doit s'adapter au sol lors de ses déplacements	- Système non détaillé dans ce document.		
FS 6	Lorsque le cageot est plein, le robot l'évacue et réapprovisionne un cageot vide.	Système non détaillé dans ce document.		

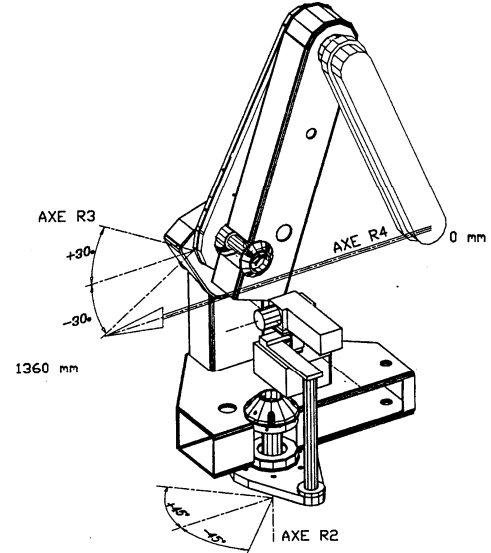
Remarque : Pour des raisons de conception et de coût de production, le constructeur a choisi d'équiper le mouvement de l'épaule, du coude et du poignet avec le même système mécanique (cinématique, dynamique, et motorisation). Après une étude en cinématique, la précision angulaire de chaque axe doit être de $0,3^\circ$ maximum.

2. Présentation de l'objet technique réel en situation d'usage.

Le système qui vous est proposé à l'étude est extrait d'un robot de cueillette de pommes développé par la société PELLENC S.A., producteur d'équipements agricoles. Ce système correspond au bras de cueillette au bout duquel est fixé un préhenseur à dépression ou un sécateur qui permettent la récolte des fruits dans l'arbre.



Schéma d'architecture



Les trois fonctions importantes du robot sont :

- F1 : le déplacement du robot dans le verger
- F2 : la prise du fruit dans l'arbre
- F3 : le rangement du fruit cueilli dans une caisse

Ces trois fonctions peuvent être exécutées simultanément ou successivement.

Le robot est entraîné de manière entièrement hydraulique : il utilise en effet un moteur et sa transmission, un système de direction automatique et des freins utilisant tous la puissance hydraulique.

Le robot se déplace en ligne droite dans les allées et son guidage est assuré par un gyromètre qui informe en continu la partie commande du système. Le système comporte en plus des détecteurs (sonars) à ultrasons qui repèrent les pieds des arbres et informent la partie commande de la présence de ceux-ci. Un programme informatique spécifique, stocké en mémoire, permet de déterminer le début et la fin des allées.

Arrivé devant un arbre, le robot s'arrête et cherche les fruits grâce à une caméra dont les images sont analysées par la partie commande grâce à un logiciel associé à la caméra. Lorsqu'un fruit est détecté, un programme spécifique, permettant de déterminer la maturité de ce fruit par analyse des données issues de la caméra, permet alors de le choisir ou non. Un odomètre est associé à ce choix pour éviter la prise de fruits trop mûrs. Un autre programme, utilisant lui aussi les données issues de la caméra, détermine alors la position du fruit dans l'espace.

La cueillette est assurée en déplaçant le système de ramassage à préhension dans l'espace grâce à un bras à trois degrés de liberté (dont est extrait le système étudié aujourd'hui). Un détecteur à contact puis un préhenseur à aspiration permettent alors la détection puis la saisie du fruit.

Lorsqu'un fruit a été cueilli, le bras à trois degrés de liberté revient à son point de départ et dépose le fruit dans une goulotte d'amenée appelée « chemin antichoc ». Ce système permet de transférer le fruit jusqu'au voisinage de la caisse de rangement dans laquelle il est placé grâce à un système de dépose mobile. Lorsqu'une caisse est pleine (ce qui est repéré par un capteur et un logiciel associé), un mécanisme de manutention des caisses dépose la caisse pleine dans un endroit prévu à cet effet et positionne une nouvelle caisse (vide bien sûr). Un compteur permet de déterminer en continu le nombre de caisses remplies.

Prendre connaissance du fichier résumé sur les outils de l'analyse fonctionnelle et sur la structure des chaînes fonctionnelles :

- Fichier **Outils de l'analyse fonctionnelle.pps** disponible sur le réseau, dans le dossier ressource (RESSOURCES\SII\Travaux Pratiques\Outils de l'analyse fonctionnelle)

ACTIVITÉ 1

Visionner la vidéo « Pellenc.wmv » pour observer particulièrement le fonctionnement du robot MAGALI sur un poste en réseau (il faut pour cela se connecter sur un ordinateur Dell et lire le fichier correspondant situé dans le dossier « vidéos TP » du répertoire Commun\Ressources\SII). Il n'est pas nécessaire de regarder la vidéo entièrement, il suffit de repérer le moment intéressant pour l'application qui nous intéresse.

Analyse fonctionnelle externe

- Préciser le besoin et la fonction assurée globalement par ce système (diagramme des prestations, aussi connu sous le nom de « bête à corne »).

Analyse fonctionnelle interne

- Mettre en place le diagramme SADT de niveau A-0 de ce système : on précisera particulièrement les contrôles, partie supérieure du bloc.
- Préciser les types d'énergies présentes dans ce système ; repérer les connexions associées.

3. Présentation du matériel instrumenté, support de l'étude.

Partie opérative (chaîne d'action)

L'architecture de la partie opérative est celle d'un robot plan, comportant un système vis-écrou motorisé et un mécanisme plan à transformation de mouvement rotation → rotation. Le moteur est articulé sur une embase fixe et la vis en extrémité s'articule sur le bras pivoté via un écrou. Les articulations sont réalisées à l'aide de liaisons assimilables cinématiquement à des pivots.

Le vérin est de type électrique, construit à partir d'une liaison hélicoïdale, et motorisé par un moto réducteur à courant continu, de puissance maximale 40 W.

Partie commande

L'entrée des consignes de position du bras Maxpid s'effectue à partir d'un ordinateur comportant un logiciel de simulation du pilotage, interfacé avec la commande du moteur.

La carte d'interface analogique numérique entre l'ordinateur et l'électronique de commande de la rotation du moteur permet en « temps réel » :

- de transmettre les consignes calculées par l'ordinateur vers l'axe commandé ;
- d'acquérir les différentes mesures de position, de vitesse et de couple pour les visualiser.

Extrait du Cahier des Charges Fonctionnel du bras MAXPID.

FS	Critères	Niveaux	Flexibilité (optionnel)
FS1 Déplacer une charge	C11 : amplitude	0 - 90 °	± 1 ° (voir note 1)
	C12 : mémoriser la position angulaire atteinte	En tout point	aucune
	C13 : précision du positionnement	0,1 °	minimale
	C14 : capacité de charge	3 kg	charge maximale
	C15 : stabilité et amortissement		
	Marge de phase	45 °	minimum
	Dépassements transitoires	30 %	maximum
	C16 : vitesse moteur	60 % . N _{nominale}	Maximum (voir note 2)

Note 1 : les deux trous oblongs situés de chaque côté du capteur permet un positionnement centré du capteur dont l'amplitude de mesure est légèrement supérieure (elle vaut 94 °).

Note 2 : c'est un critère thermique pour éviter l'échauffement du moteur

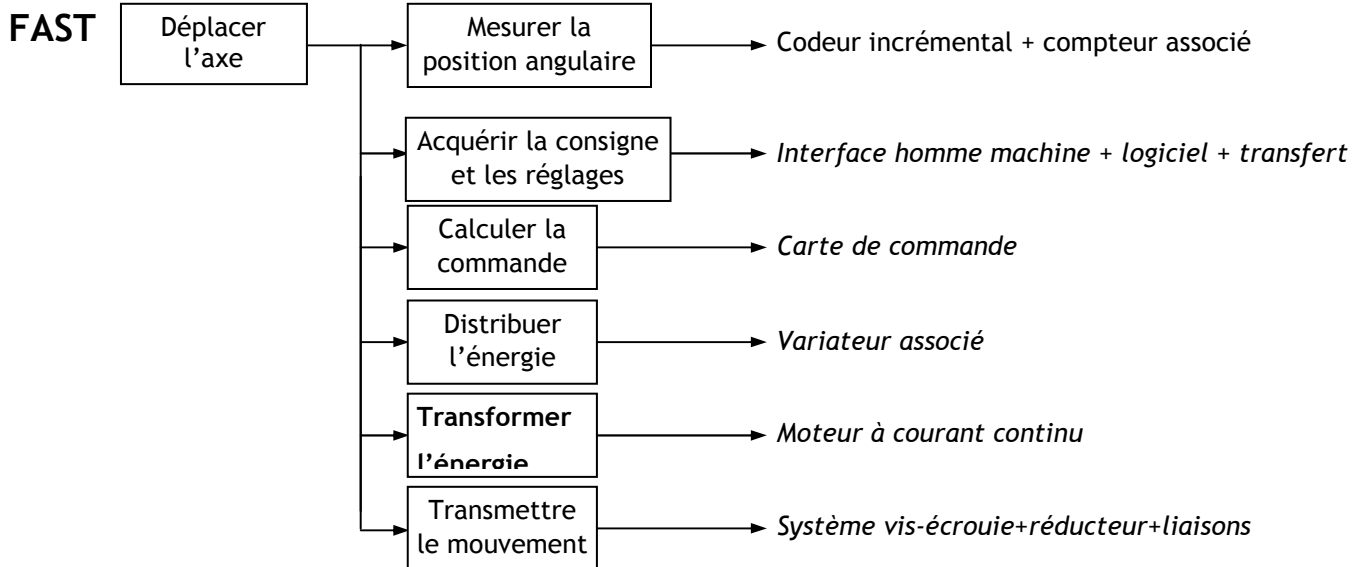
ACTIVITÉ 2

Préciser les contraintes imposées par l'environnement réel par rapport au laboratoire. Conclure quant à la cohérence et aux limites de la « réduction » réel → instrumenté.

4. Observation du matériel instrumenté en fonctionnement.

On se propose de modéliser la commande d'axe du bras Maxpid. Le fonctionnement de la commande de cet axe peut-être analysé par le schéma SADT de niveau A0 de l'annexe.

Le fonctionnement de la commande de cet axe peut-être analysé par le schéma FAST ci-après.



ACTIVITÉ 3 : Manipulation de mise en évidence du fonctionnement

Mettre la chaîne fonctionnelle de positionnement angulaire est en **position de déplacement horizontal** (ce qui correspond à placer le boîtier orange à plat sur la table). Fixer deux masses additionnelles en bout de bras.



Cliquez sur l'icône MAXPID se trouvant dans le répertoire de programmes de SII puis choisir le menu « travailler avec MAXPID » (voir note¹). Pour avoir une mesure correcte, toujours respecter le protocole de mesure suivant :

0. Dans le menu « réponse à une sollicitation » cliquer sur « PID » : choisir un Gain Proportionnel (K_p) de 31 (vérifier que les gain Intégral K_i et Dérivé K_d sont nuls). **Valider pour sauver les nouveaux Paramètres.**
1. Choisir de visualiser les courbes de consigne, commande et position et une durée d'acquisition de 600 ms.
2. Placer le bras à $\theta = 10^\circ$ en modifiant la position désirée à l'aide du curseur placé en haut à droite puis en cliquant sur « échelon de position ».

¹ les différents essais par la suite sont parfaitement guidés mais, en cas de problème, une aide pour la prise en main vous est proposée dans le menu « documents MAXPID » puis « manuel d'utilisation du logiciel MAXPID ».

3. Procéder de la même façon pour placer le bras $\theta = 25^\circ$ avec un Échelon de Position. L'essai étant effectué, les courbes sont affichées. Les enregistrer dans votre répertoire personnel.

Refaire la même mesure avec la chaîne fonctionnelle de positionnement angulaire en position de déplacement vertical (ce qui correspond à placer le boîtier orange perpendiculairement à la table).



La consigne est-elle atteinte dans les deux cas ? Estimer l'écart valeur consigne - valeur atteinte.

Quelle est la perturbation principale sur ce système ? Est-elle constante quelle que soit la position angulaire du bras ? Proposer un modèle d'évolution de cette perturbation. Dans quelle zone (bras voisin de 0° ou bras voisin de 90° ou bras voisin d'un angle à préciser) cette perturbation peut-elle être considérée comme quasi constante et maximale ?

Pour toute la suite, on va considérer qu'on travaille boîtier horizontal sur des évolutions de petite amplitude depuis la position horizontale correspondant à $\theta = 90^\circ$.

Justifiez le choix de cette valeur de $\theta=90^\circ$ pour la linéarité du processus.

4. Synthèse : analyse fonctionnelle

ACTIVITÉ 4

- Grâce aux documents fournis (SADT A0 par exemple), identifier les différents éléments mis en évidence par le document de présentation des chaînes fonctionnelles (tous ces éléments peuvent ne pas exister sur ce système) pour la chaîne fonctionnelle étudiée.
- Le document sur les chaînes d'énergie, d'action et d'information (normalisé) permet de décomposer de manière complète la structure l'asservissement : compléter ce document.

III. Étude de la loi entrée – sortie

3.1. Expérimentation

Ouvrir la porte avant du bras Maxpid. Le contact de sécurité est ainsi libéré. De ce fait, le moteur n'est plus alimenté en énergie mais le capteur de position indique toujours la valeur de l'angle θ_{51} .

En agissant manuellement sur la vis 3, relever, pour chaque tour β_{32} , la valeur de l'angle θ_{51} lisible sur le schéma organique.

- Tracer la courbe $\theta_{51}^\circ = f(\beta_{32})_{\text{tours}}$ sur une feuille (préciser les conditions initiales).

3.2. Recherche théorique

À partir de la fermeture géométrique de la chaîne cinématique, écrire sous forme littérale la relation

$$\theta_{51}^\circ = f(\beta_{32})_{\text{tours}}.$$

On donne :

$$\overline{OA} = a\vec{x}_1, \quad a = 70 \text{ mm}$$

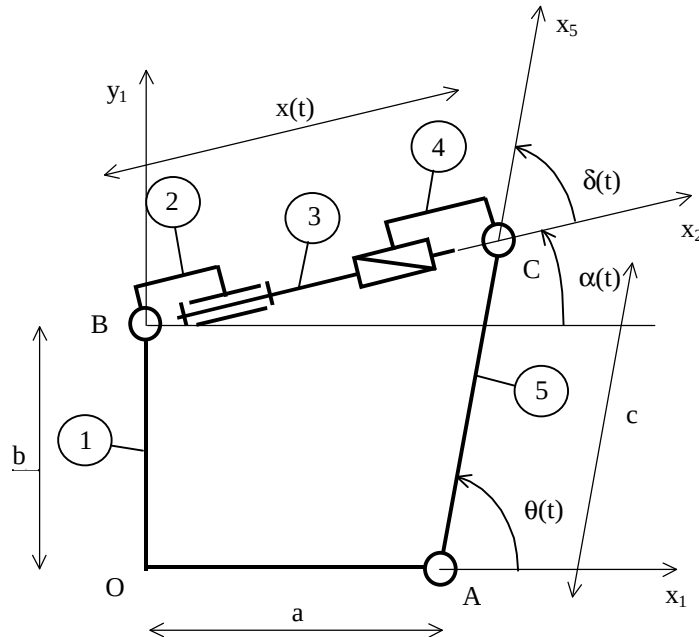
$$\overline{OB} = b\vec{y}_1, \quad b = 80 \text{ mm}$$

$$\overline{AC} = c\vec{x}_5, \quad c = 80 \text{ mm}$$

$$\overline{BC} = x\vec{x}_2$$

Pas de la vis 3 :

$$p = 4 \text{ mm}$$



- Tracer la courbe $\theta_{51}^\circ = f(\beta_{32})_{\text{tours}}$ sur une feuille.

ACTIVITÉ 5

Comparer les résultats expérimentaux et théoriques.

Quelles conclusions peut-on tirer de l'allure de ces courbes ?

On désire définir, au sens des systèmes linéaires continus et invariants, une fonction de transfert cinématique H_c qui relie β_{32} à θ_{51} .

- Préciser les critères à respecter.
- À l'aide des mesures précédentes, déterminer H_c pour la plage d'utilisation $30^\circ \leq \theta_{51} < 90^\circ$.
- Quelle erreur maximum commet-on par rapport au modèle théorique ?

IV. Étude du mécanisme

Observer le système réel ainsi que le schéma cinématique donné et son paramétrage.

- Tracer le graphe des liaisons.
- De combien de solides est-il constitué ? ($S=$)
- Combien de liaisons comporte-t-il ? ($L=$)
- En déduire le nombre cyclomatique γ (i.e. le nombre de boucles indépendantes)
- Quelle est la mobilité m du modèle ?
- Écrire la ou les équations torsorielles de fermeture cinématique.

4.1. Approche spatiale

- Écrire le torseur cinématique de chaque liaison.
- De combien d'équations scalaires disposons nous ?
- Faire le bilan N_c des inconnues cinématiques.

La mobilité m indique en fait le nombre d'inconnues cinématiques qu'il est impossible de déterminer c'est-à-dire le nombre d'inconnues principales qu'on doit choisir pour résoudre le système d'équations obtenu par fermeture cinématique.

- Donner alors le rang r_c de ce système et déterminer, dans la foulée, le nombre h d'équations inutilisables.

Ce nombre h est appelé degré d'hyperstaticité du modèle étudié.

- Établir une relation qui lie h à γ , N_c , et m .

4.2. Approche plane

Faisons à présent l'hypothèse d'un problème plan de normale $\vec{Z}$.

Dans une telle hypothèse, les seuls mouvements possibles doivent être compatibles avec le mouvement plan de normale $\vec{Z}$. Seules les rotations d'axe $\vec{Z}$ et les translations de direction $\vec{X}$ et $\vec{Y}$ sont permises.

- Réécrire les torseurs cinématiques de chacune des liaisons.
- Faire le nouveau bilan N_c des inconnues cinématiques.
- Retracer le graphe des liaisons.
- De combien de solides le modèle est-il alors constitué ? ($S=$)
- Combien de liaisons comporte-t-il ? ($L=$)
- Les quantités γ et m ont-elles évoluées ?
- Tracer le nouveau schéma cinématique.
- Écrire la ou les nouvelles équations torsorielles de fermeture cinématique.
- L'hypothèse d'un problème plan nous interdit certaines projections – lesquelles ?
- Donner alors le degré d'hyperstaticité h du modèle.

ACTIVITÉ 6

Quelles sont vos conclusions sur ces deux approches ?